

2. Sushchenko O.A. Mathematical Model of Inertially Stabilized Platform for Aircraft Observation Equipment / O.A. Sushchenko // Aviation in the XXI-st century. Safety in Aviation and Space Technology: the Fourth World Congress. — 2010 — Vol. 1. — pp. 21.43 — 21.46.
3. Gu D.W. Robust Control Design with MATLAB / D.W. Gu, P.Hr. Petkov, M.M. Konstantinov. — London: Springer-Verlag, 2005, — 389 p.

УДК 681.5

В.Д. Дмитриенко, д-р техн. наук, проф.,
А.Ю. Заковоротный, канд. техн. наук, доц.,
Нац. техн. ун-т «ХПИ» arcade@i.ua

АВТОМАТИЗАЦИЯ СИМВОЛЬНЫХ ВЫЧИСЛЕНИЙ В ГЕОМЕТРИЧЕСКОЙ ТЕОРИИ УПРАВЛЕНИЯ ПРИ СИНТЕЗЕ ЛИНЕЙНЫХ МОДЕЛЕЙ

Для геометричної теорії керування розроблені програмні засоби, що автоматизують символічні перетворення нелінійних моделей об'єктів до еквівалентних їм лінійним моделям. З їх допомогою виконаний синтез лінійної математичної моделі руху дизель-поїзда у формі Бруновського, яка враховує паралельну роботу чотирьох тягових асинхронних двигунів. Отримана модель може використовуватися для пошуку оптимальних керувань, а також для дослідження процесів буксування та юза, а також паралельної роботи двигунів.

Ключові слова: геометрична теорія керування; форма Бруновського; лінійна математична модель руху дизель-поїзда.

Для геометрической теории управления разработаны программные средства, автоматизирующие символьные преобразования нелинейных моделей объектов к эквивалентным линейным моделям. С их помощью выполнен синтез линейной математической модели движения дизель-поезда в форме Бруновского, которая учитывает параллельную работу четырех тяговых асинхронных двигателей. Полученная модель может использоваться для поиска оптимальных управлений, а также для исследования процессов буксования и юза, а также параллельной работы двигателей.

Ключевые слова: геометрическая теория управления; форма Бруновского; линейная математическая модель движения дизель-поезда.

For geometric control theory developed software tools that automate the symbolic transformation of nonlinear models of objects to equivalent linear model. With their help, made the synthesis of linear mathematical model of the motion of diesel-trains in the form Brunovsky, which allows for the parallel operation of four traction induction motors. The resulting model can be used to find the optimal controls, as well as for study of slipping and skidding as well as parallel operation of motors.

Keywords: geometric control theory; form Brunovsky; linear mathematical model of diesel-train movement.

Введение. Трудности анализа и синтеза нелинейных систем управления общеизвестны. Поэтому в течении десятилетий ведется поиск более мощных теоретических средств, чем существующие, для решения фундаментальных проблем теории управления. Одним из таких средств является современная геометрия, в частности, геометрический подход к теории управления на основе теории групп и дифференциальной геометрии. Успехи этого подхода привели к интенсивной разработке нового научного направления — единой геометрической теории управления [1, 2, 3]. Существенное преимущество нового научного направления состоит не только в создании математического аппарата, позволяющего описывать системы управления в пространствах состояний более общих, чем линейные пространства, что необходимо при решении целого ряда задач управления [1, 2], но и в реальной осуществимости эквивалентных преобразований нелинейных систем к линейным. Такие преобразования открывают возможности для использования при решении задач разработки нелинейных систем управления методов и средств теории линейных систем. При этом линеаризация нелинейной системы выполняется не с помощью классического разложения в ряд Тейлора, а на основе использования линейной обратной связи в пространстве «вход — выход» или «вход — состояние». Теоретически линеари-

зация с помощью обратной связи позволяет преобразовать к линейному виду широкий класс нелинейных систем управления [1 — 4]. Однако в этом случае необходимо выполнять трудоемкие аналитические преобразования, которые не автоматизированы ни в одном из известных пакетов моделирования и которые стали причиной разрыва между теоретическими результатами геометрической теории управления и решением практических задач синтеза систем управления.

Постановка задачи. Разработать программные средства для универсального пакета моделирования, позволяющие автоматизировать сложные аналитические преобразования, необходимые в геометрической теории управления при получении из нелинейных математических моделей объектов эквивалентных линейных моделей в форме Бруновского. Продемонстрировать работоспособность программного обеспечения при синтезе линейной математической модели в форме Бруновского, описывающей процессы движения дизель-поезда.

Методы решения. В процессе разработки программного обеспечения согласно описанного в работах [1 — 4] алгоритма синтезированы функции, которые выполняют следующие действия: формируют векторные поля объектов по их моделям, проверяют условия инволютивности, вычисляют производные Ли, вычисляют преобразования переменных расширенной модели объекта в переменные в форме Бруновского, а также выполняют интегрирование системы дифференциальных уравнений.

Продемонстрирован процесс синтеза линейной математической модели дизель-поезда с четырьмя тяговыми асинхронными двигателями, в результате которого получена модель объекта управления в форме Бруновского в пространстве «вход — состояние»:

$$\frac{dz_i}{dt} = z_{i+1}, \quad i = \overline{1, 26}, \quad i \neq 5, 8, 11, 14, 17, 20, 23, 26; \quad \frac{dz_{(2+3q)}}{dt} = v_q, \quad q = \overline{1, 8}, \quad (1)$$

где $v_q (q = \overline{1, 8})$ — управления.

Модель объекта в форме Бруновского имеет 8-м клеток, т.о. необходимо определить 8-м функций $T_j(y)$ ($j = \overline{1, 8}$), преобразующих переменные расширенной модели объекта управления в переменные модели в форме Бруновского:

$$z_1 = T_1(y); \quad z_{3+k} = T_l(y), \quad k = 3, 6, 9, \dots, 21, \quad l = (3 + k) / 3. \quad (2)$$

Методика определения этих функций известна [2]. В данном случае они являются однокомпонентными составляющими вектора $y = (y_1, y_2, \dots, y_{26})$. Из этих функций путем последовательного дифференцирования вдоль векторного поля объекта можно получить выражения для определения соответственно z_2, z_3, z_4, z_5 (из функции $T_1(y)$), z_7, z_8 (из функции $T_2(y)$), z_{10}, z_{11} (из функции $T_3(y)$) и т.д.

Выводы. Таким образом, для универсального пакета моделирования разработано программное обеспечение, позволяющее автоматизировать сложные аналитические преобразования в геометрической теории управления при получении из нелинейных математических моделей объектов управления эквивалентных линейных моделей в форме Бруновского. С помощью разработанного программного обеспечения получена линейная математическая модель движения дизель-поезда в канонической форме Бруновского, которая учитывает параллельную работу четырёх тяговых асинхронных двигателей. Полученная модель может использоваться для поиска оптимальных управлений, а также для исследования процессов буксования и юза, а также параллельной работы двигателей.

Литература

1. Методы классической и современной теории автоматического управления: Учебник в 5-и томах. Т. 5: Методы современной теории управления / Под ред. К.А. Пупкова, Н.Д. Егупова. — М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2004. — 784 с.

2. Краснощёченко В.И. Нелинейные системы: геометрический метод анализа и синтеза / В.И. Краснощёченко, А.П. Грищенко. — М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана. — 2005. — 520 с.
3. Kim D.P. Automatic Control. Theory Nonlinear and Multivariable System / D.P. Kim. — Seoul: Harnol, 2000. — 558 p.
4. Дмитриенко В.Д. Моделирование и оптимизация процессов управления движением дизель-поездов / В.Д. Дмитриенко, А.Ю. Заковоротный. — Х.: Изд. центр «НТМТ», 2013. — 248 с.

УДК 681.518.3

С.И. Лагерная, аспирант,
В.А. Хобин, д-р техн. наук, проф.,
Одес. нац. акад. пищевых технологий,
svetlanalagernaya@yandex.ru

МОДЕЛЬ СПЕКТРАЛЬНОЙ ПЛОТНОСТИ РЕГУЛИРУЕМОЙ ПЕРЕМЕННОЙ САР

Для спектральной щільності регулюємої змінної отриманий вираз для її опису, побудовані графіки при різних властивостях об'єкта та налаштуваннях регулятора, запропонована її модель.

Ключові слова: (модель; спектральна щільність; регулюєма змінна; параметри моделі; графік спектральної щільності);

Для спектральной плотности регулируемой переменной получены выражения для ее описания, построены графики при различных свойствах объекта и настройках регулятора, предложена ее модель.

Ключевые слова: (модель; спектральная плотность; регулируемая переменная; параметры модели; график спектральной плотности);

Expressions to describe the spectral density of the controlled variable are obtained, spectral density plot with varying properties of object and controller settings is received, and model of the spectral density of the controlled variable is proposed.

Keywords: model; spectral density; controlled variable; model parameters; spectral density plot.

Постановка задачі. Повышение эффективности управления технологическими процессами, имеющими нестационарные свойства, требует получения информации об изменениях характера функционирования объекта. Регулируемые переменные можно рассматривать как случайные процессы, поэтому необходимо в реальном времени, используя вычислительные ресурсы контроллеров, решать задачу идентификации моделей случайных процессов, в частности их спектральных плотностей.

Решение задачи.

1. Пусть САР имеет структуру, представленную на рис.1, а свойства возмущений $f(t)$ описываются, см. (1), альтернативными спектральными плотностями $S_1(\omega)$ и $S_2(\omega)$.

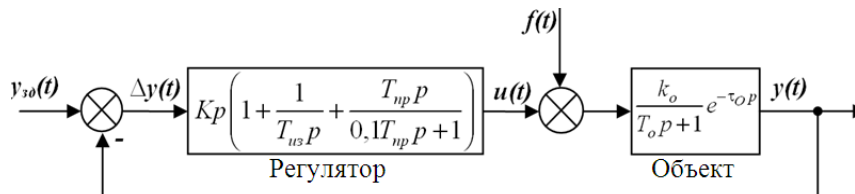


Рис. 1. Структурная схема исследуемой САР

$$S_1(\omega) = \sigma_1^2 4\alpha^3 / (\omega^2 + \alpha^2)^2; \quad S_2(\omega) = \sigma_2^2 4\alpha(\alpha^2 + \beta^2) / ((\omega^2 - \beta^2 - \alpha^2)^2 + 4\alpha^2\omega^2). \quad (1)$$

Поскольку $S_y(\omega) = |W_{fy}^{CAP}(j\omega)|^2 \cdot S_f(\omega)$, см. [1], то альтернативные модели спектральных плотностей регулируемой переменной $y(t)$ этой САР будут иметь вид: